



(19) RU (11) 2171554 (13) C2

(51) 7 H05H1/24, H05H1/26,
H05H1/30, H05H1/46РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ**
к патенту Российской Федерации

- (14) Дата публикации: 2001.07.27
 (21) Регистрационный номер заявки: 99110864/06
 (22) Дата подачи заявки: 1999.05.25
 (24) Дата начала действия патента: 1999.05.25
 (31) Номер конвенционной заявки: 99106909
 (32) Дата подачи конвенционной заявки: 1999.04.07
 (33) Страна приоритета: RU
 (46) Дата публикации формулы изобретения: 2001.07.27
 (56) Аналоги изобретения: 2046559 A, 20.10.1995. SU 1829879 A1, 27.08.1996. US 4370539 A, 25.01.1983. US 5210392 A, 11.05.1993. МИТИН Б.С. Порошковая металлургия и напыление покрытий. - М.: Металлургия, 1987, с.632 - 635. ЛИТВАК Л.Г. СВЧ-разряд высокого давления в пучках электромагнитных волн: Сборник научных трудов. - Горький, 1988, с.141 - 142.
- (71) Имя заявителя: Корчагин Юрий Владимирович; Товарищество с ограниченной ответственностью "Комаров и Ко., Лтд."
 (72) Имя изобретателя: Корчагин Ю.В.
 (73) Имя патентообладателя: Корчагин Юрий Владимирович; Товарищество с ограниченной ответственностью "Комаров и Ко., Лтд."
 (98) Адрес для переписки: 143080, Московская обл., пос. Лесной городок, ул. Фасадная, д.8/5, кв.16, Корчагину Ю.В.

(54) СПОСОБ ГЕНЕРАЦИИ ПЛАЗМЫ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Изобретение относится к плазменной технике, а точнее к средствам для генерирования плазмы с использованием внешних электромагнитных полей сверхвысокой частоты и предназначено для использования в маломощных и легко транспортируемых, создающих СВЧ-плазму установках, которые могут быть использованы в самых разных отраслях, например плазменная обработка поверхности материалов, экологическая очистка от вредных примесей выбросов промышленных и бытового характера, в медицинских и биологических приложениях и т.д. Сущность изобретения заключается в том, что возбуждают колебания на частоте, соответствующей резонансной частоте системы, образованной источником СВЧ-излучения (магнетроном) 1 и резонатором 3, определяют области пучности установившейся стоячей волны и направление колебаний электрического вектора в резонаторе, который соединяют с разрядной камерой 6, устанавливают между ними сильную связь, в разрядной камере исследуют распределение электромагнитного поля, фиксируя области пучности, размещают инициатор 4 в области пучности резонатора и разрядной камеры, при этом ориентируют его относительно направления колебаний электрического вектора в резонаторе, после чего возбуждают колебания на частоте, соответствующей резонансной частоте системы источник СВЧ-излучения - резонатор - инициатор - разрядная камера, увеличивая напряженность электромагнитного поля до величины, превышающей пробойную напряженность для газа, заполняющего разрядную камеру, иницируя тем самым разряд, и воздействием СВЧ-излучения генерируют плазму. Технический результат - обеспечение стабильности и устойчивости генерации разряда для формирования непрерывного потока плазмы в любой газовой среде. 2 с. и 12 з.п. ф-лы, 5 ил.

Изобретение относится к плазменной технике, а точнее к средствам для генерирования плазмы с использованием внешних электромагнитных полей сверхвысокой частоты, и предназначено для

использования в маломощных и легко транспортируемых, создающих СВЧ-плазму установках, которые могут быть использованы в самых разных отраслях, например, таких как плазменная обработка поверхности материалов, экологическая очистка от вредных примесей выбросов промышленных и бытового характера, в медицинских и биологических приложениях и т.д.

Важнейшей предпосылкой эффективного практического использования плазмы СВЧ-разряда является стабильность ее генерации при возможно более низких уровнях напряженности электрического поля волны как в импульсных, так и в непрерывных режимах генерации. Отсутствие стабильности генерации плазмы практически полностью закрывает возможности ее применения в технологиях, а работа при высоких уровнях электрических полей приводит к необходимости использования мощных и дорогостоящих СВЧ-установок, имеющих к тому же пониженный ресурс работы и работающих, как правило, в изолированных боксах, защищающих персонал от рентгеновских и СВЧ-излучений.

Как правило, для осуществления этих способов используются плазмотроны, содержащие генератор СВЧ, волновод для передачи мощности к области где образуется и поддерживается плазма [Порошковая металлургия и напыление покрытий/Под ред. д. т.н. проф. Б.С. Митина.- М.: Металлургия, 1987, с. 631-635; патент США N 4370539, МКИ⁶ В 23 К 9/16, НКИ 219/121PW, заяв. 07.10.80, опуб. 25.10.83; патент США N 5210392, МКИ⁶ В 23 К 9/00, НКИ 219/125.52, заяв. 07.11.90, опуб. 11.05.93].

В качестве такой области может быть использованы вакуумная камера, резонатор или просто трубка, пересекающая волновод.

Подобные установки требуют специальных средств для инициации плазменного разряда, например понижение давления газа до пробойного, сближение электродов, внешняя подача искры в зону образования плазмы или непосредственное замыкание электродов. Все эти средства позволяют получить многократную инициацию, но использование их приводит к быстрому разрушению электродов.

Горение плазмы в таких установках неустойчиво, в том случае, если она погаснет, для ее поджига нужна новая внешняя инициация разряда.

Кроме того, большинство таких устройств громоздки, и для их использования необходимо наличие таких средств, как вакуумная система, силовая установка для установления высокой напряженности СВЧ, а также средства защиты от СВЧ-излучения, что значительно усложняет использование, особенно для таких областей, как медицина, ювелирное дело и т.п.

Известен способ генерации плазмы, заключающийся в том, что с помощью электромагнитной волны СВЧ-диапазона в газовой среде создают инициированный разряд и генерируют плазму. Стабильная генерация плазмы в газовой среде при воздействии на нее электромагнитной СВЧ-волной происходит при превышении напряженности электрического поля волны порога зажигания самостоятельного разряда (Сборник научных трудов/Под ред. Л.Г. Литвака. СВЧ-разряд высокого давления в пучках электромагнитных волн.- Горький, 1988, с. 141-142).

Для реализации этого способа в области плазмообразования размещают инициатор. Использование инициатора в несколько раз понижает порог генерации плазмы в зависимости от давления газа. Вместе с тем пространственно-временная стабильность воспроизведения СВЧ-разряда во многих случаях оказывается весьма неудовлетворительной. Это нежелательное свойство инициированного разряда особенно ярко проявляется при понижении напряженности электрического поля СВЧ-излучения и препятствует практическому использованию плазмы разряда с характеристиками, находящимися в области нестабильной генерации плазмы.

Известен способ генерации плазмы, заключающийся в том, что в газовой среде с помощью электромагнитной волны СВЧ-диапазона создают инициированный разряд, генерирующий плазму, после создания разряда фиксируют полученную структуру разряда, выделяют периодически повторяющийся элемент структуры и размещают в область плазмообразования инициатор, геометрические параметры и форма которого идентичны периодически повторяющемуся элементу структуры разряда при его фиксации.

Для осуществления способа использовано устройство, содержащее СВЧ-излучатель, заполненную газом разрядную камеру и размещенный в ней инициатор, форма и геометрические параметры которого подобраны идентичными элементам структуры разряда [патент РФ N 2046559, МКИ⁶ Н 05

Н 1/46, заяв. 30.12.92, публ. 20.10.95. БИ N 29].

Этот способ позволяет достаточно хорошо понизить порог пробоя, но если давление в газоразрядной камере порядка или выше атмосферного, требуется очень высокая напряженность электрического поля и соответственно очень большая подводимая мощность для инициации разряда в газе при высоком давлении.

Кроме того, каждый раз при изменении используемого газа или его рабочего давления необходимо менять конфигурацию инициатора, что значительно усложняет его практическое использование.

Задачей настоящего изобретения является обеспечение стабильности и устойчивости генерации разряда для формирования непрерывного потока плазмы в любой газовой среде путем автоматического возобновления инициации плазмы при любом давлении газа и использовании маломощных источников СВЧ-излучения.

Поставленная задача решается тем, что в известном способе генерации плазмы, заключающемся в иницировании разряда в газовой среде с помощью электромагнитной волны СВЧ-диапазона, используют маломощный источник СВЧ-излучения, напряженность электромагнитного поля которого повышают, для чего используют объемный резонатор, устанавливая сильную связь между источником СВЧ-излучения и резонатором, возбуждают колебания на частоте, соответствующей резонансной частоте системы, образованной источником СВЧ-излучения и резонатором, определяют области пучности установившейся стоячей волны и направление колебаний электрического вектора в резонаторе, который соединяют с разрядной камерой, устанавливают между ними сильную связь, в разрядной камере исследуют распределение электромагнитного поля, фиксируя области пучности, размещают инициатор в области пучности резонатора и разрядной камеры, при этом ориентируют его относительно направления колебаний электрического вектора в резонаторе, после чего возбуждают колебания на частоте, соответствующей резонансной частоте системы источник СВЧ-излучения - резонатор - инициатор - разрядная камера, увеличивая напряженность электромагнитного поля до величины, превышающей пробойную напряженность для газа, заполняющего разрядную камеру, иницируя тем самым разряд, и воздействием СВЧ-излучения генерируют плазму.

Кроме того, поставленная задача решается тем, что устройство для осуществления способа генерации плазмы, содержащее источник СВЧ-излучения, заполненную газом разрядную камеру и размещенный в ней инициатор, выполненный из токопроводящего материала, дополнено объемным резонатором, а инициатор установлен одновременно в полостях разрядной камеры и резонатора, при этом конец инициатора, расположенный в разрядной камере, размещен в области пучности, установившейся внутри разрядной камеры стоячей волны, а другой - помещен внутри резонатора в область пучности, установившейся в нем стоячей волны, а в качестве источника СВЧ-излучения использован СВЧ-магнетрон, рабочая частота которого соответствует резонансной частоте объемного резонатора, при этом излучающий элемент СВЧ-магнетрона расположен внутри объемного резонатора.

Оптимальное увеличение напряженности электрического поля может быть получено, если конец инициатора, находящийся в резонаторе, ориентирован параллельно направлению колебаний электрического вектора.

При этом инициатор может быть выполнен так, что конец инициатора, находящийся в резонаторе, либо соединен, либо не соединен с его проводящей поверхностью, во втором случае диаметр его как минимум в 2 раза больше диаметра конца инициатора, находящегося в разрядной камере, а длина его выбрана из соотношения

$$L = n\lambda/2 + \lambda/4,$$

где L - общая длина инициатора;

λ - длина волны СВЧ-излучения в свободном пространстве;

$n = 0, 1, 2, \dots$

Форма инициатора может быть практически любой, но для упрощения изготовления инициатор может быть выполнен прямолинейным или изогнутым, например, в виде U-образной петли связи,

при этом в области пучности, установившейся внутри резонатора стоячей волны параллельно электрическому вектору, расположен участок петли связи, соединяющий параллельные ее части, и его длина равна $\lambda/4$.

Инициатор может быть выполнен в виде двух перпендикулярно соединенных прямолинейных отрезков, и длина его отрезка, размещенного внутри резонатора параллельно электрическому вектору, равна $\lambda/4$.

Для использования устройства, например в качестве средства для плазменного нанесения покрытий, например на поверхность режущего инструмента, инициатор может быть выполнен в виде трубопровода, и конец его, находящийся в резонаторе, выведен из него и подключен к системе подачи газа.

Для формирования струи плазмы конец выполненного в виде трубопровода инициатора, размещенный внутри разрядной камеры, может быть снабжен соплом из тугоплавкого материала и/или надета трубка из диэлектрического материала с высокой температурой плавления и низкими потерями энергии на СВЧ, например из кварца.

Для упрощения конструкции разрядная камера может быть выполнена в виде цилиндра, коаксиального с частью инициатора, расположенной в ней.

Сопоставительный анализ показал, что заявляемое решение отличается от прототипа тем, что возбуждают колебания на частоте, соответствующей резонансной частоте системы, образованной источником СВЧ-излучения и резонатором, определяют области пучности установившейся стоячей волны и направление колебаний электрического вектора в резонаторе, который соединяют с разрядной камерой, устанавливают между ними сильную связь, в разрядной камере исследуют распределение электромагнитного поля, фиксируя области пучности, размещают инициатор в области пучности резонатора и разрядной камеры, при этом ориентируют его относительно направления колебаний электрического вектора в резонаторе.

А в устройстве в качестве источника СВЧ-излучения используется СВЧ-магнетрон, и инициатор расположен одновременно в полостях резонатора и разрядной камеры, что позволяет сделать вывод о соответствии критерию "новизна".

Сущность изобретения заключается в следующем.

Как известно, для инициации разряда требуется значительно большая напряженность электрического поля, иногда на несколько порядков, чем для поддержания горения разряда, и поэтому обычно для генерации плазмы используются довольно мощные источники СВЧ-излучения.

Если же использовать маломощный источник СВЧ-излучения, например СВЧ-магнетрон, то на этапе, предшествующем инициации разряда, нужно поднять напряженность до необходимого уровня. Для этого установку нужно дополнить накопителем энергии в диапазоне СВЧ, в качестве которого может быть использован объемный резонатор.

Однако в этом случае возникает проблема настройки резонатора и источника СВЧ-излучения на одну и ту же резонансную частоту.

Известны методы настройки и стабилизации частоты магнетрона полым резонатором, при этом в резонансной системе магнетрона появляются дополнительные резонансные состояния при любом характере связи анодного блока магнетрона с резонатором [Самсонов Д.В. Основы расчета и конструирования магнетронов.- М.: Советское радио, 1974, с. 167-194].

При этом в соответствии с принципом "минимального рассеяния" колебания системы "магнетрон - резонатор" возбуждаются на той частоте, на которой достигается наибольшее отношение запасенной энергии к общей энергии потерь за период, то есть на частоте, на которой добротность системы максимальна. Так как добротность собственной резонансной системы магнетрона много меньше добротности объемного резонатора, колебания будут возбуждаться на резонансной частоте системы, образованной магнетроном и резонатором. При этом, конечно, должна быть обеспечена "близость" этой частоты к собственной рабочей частоте магнетрона. Степень этой близости зависит от конкретного типа использованного магнетрона и степени связи его с резонатором.

Это означает, что если магнетрон сильно связан с объемным резонатором, и их собственные резонансные частоты с точностью порядка нескольких (не более 10%) совпадают, колебания будут возбуждаться на резонансной частоте системы без использования каких-либо механических элементов настройки частоты.

Для понижения порога генерации плазмы и снижения уровня мощности в области плазмообразования размещают инициатор, который используют также для обеспечения сильной связи в системе СВЧ-магнетрон - резонатор и разрядная камера. Для этого его устанавливают одновременно в полостях резонатора и разрядной камеры.

Сильная связь в системе СВЧ-магнетрон-резонатор может быть установлена, например, если излучающий элемент СВЧ-магнетрона будет размещен в резонаторе.

Этот режим работы системы может поддерживаться только в том случае, если будет обеспечена высокая добротность всей системы: магнетрон - объемный резонатор - разрядная камера в целом, для чего необходимо исключить какие-либо потери энергии из системы (например на излучение во внешнее пространство), за исключением неизбежных потерь из-за конечной проводимости стенок резонатора на этапе накопления энергии.

В случае обеспечения всех этих условий внутри объемного резонатора начинается накопление энергии и образуется стоячая волна, имеющая максимум и минимум напряженности электрического поля, пространственное распределение которых зависит от конкретного типа объемного резонатора (цилиндрический, коаксиальный, прямоугольный и т.д.) и типа возбуждаемых колебаний.

При этом напряженность электрического поля в местах расположения максимумов (так называемых "пучностей") значительно превышает напряженность поля, которую развивает магнетрон при излучении в свободном пространстве. Для высокودобротных резонаторов усиление напряженности поля может достигать очень больших величин, порядка 100 и более.

В обычных схемах использования объемных резонаторов для СВЧ-пробоя после достижения пробойной напряженности начинается газовый разряд, который распространяется на весь объем резонатора.

Расположение инициатора в полостях резонатора и разрядной камеры позволяет исключить излучение из разрядной камеры во внешнее пространство на предразрядной стадии и обеспечить сильную связь между резонатором и разрядной камерой, в результате чего внутри разрядной камеры устанавливается своя стоячая волна.

Многочисленные эксперименты показали, что если конец инициатора, расположенный в разрядной камере, попадает в область пучности образовавшейся в ней стоячей волны, то происходит разряд вблизи конца инициатора, то есть там, где неоднородность поля максимальная.

Пространственное расположение пучностей электрического поля внутри разрядной камеры определяется формой и размерами разрядной камеры.

Так как конец инициатора, находящийся внутри резонатора расположен в области высокой напряженности поля, необходимо предпринять специальные меры для недопущения возникновения разряда вблизи этого конца инициатора. Для этого можно, например, диаметр конца инициатора, находящегося внутри резонатора, увеличить как минимум вдвое по сравнению с диаметром конца инициатора, находящегося в разрядной камере.

Увеличение диаметра позволяет понизить градиент поля вблизи поверхности инициатора и увеличить пропорционально напряженность поля, необходимую для пробоя газа внутри резонатора, т.е. повысить электрическую прочность резонатора.

После инициации разряд локализуется вблизи конца инициатора и не распространяется на другие области разрядной камеры или резонатора.

Наличие инициатора и разрядной камеры несколько меняет собственную резонансную частоту системы магнетрон - объемный резонатор, но так как практически отсутствует излучение из системы, добротность системы, образованной магнетроном, резонатором, инициатором и

разрядной камерой, остается высокой.

СВЧ-магнетрон "самоастроивается" на частоту, соответствующую резонансной частоте системы магнетрон - резонатор - инициатор - разрядная камера. Так как установлена сильная связь между СВЧ-магнетроном и резонатором, с одной стороны, и резонатором и разрядной камерой, с другой стороны, излучаемая энергия эффективно передается в зону горения плазмы.

После возбуждения разряда образовавшаяся плазма начинает интенсивно поглощать энергию, в результате чего добротность всей системы резко падает, энергетически более выгодными для магнетрона становятся колебания на своей рабочей частоте, магнетрон перестраивается на эту частоту, и дальнейшее излучение энергии происходит на этой частоте.

При этом, если в силу каких-либо причин разряд погаснет, добротность всей системы через очень короткое время восстановится, магнетрон перестроится, произойдет новое накопление энергии и сразу же появится разряд. Промежуток времени для возобновления разряда так мал ($\sim 10^{-6}$ с), что не влияет на стабильность работы устройства в целом, практически автоматически происходит инициация разряда, что позволяет получить устойчивый самоиницирующийся плазменный разряд, при этом он может быть получен в воздухе при атмосферном давлении и не требует СВЧ-генератора высокого уровня мощности.

Для локализации разряда во внешнем по отношению к резонатору объеме, каковым является заполненная газом разрядная камера, в резонатор в область пучности электрического поля параллельно электрическому вектору размещен инициатор, второй конец которого выведен в разрядную камеру.

Такое расположение инициатора позволяет понизить порог пробоя и добиться инициации разряда вблизи конца инициатора, находящегося в разрядной камере.

Работа устройства для реализации способа поясняется чертежами, где на фиг. 1 - вариант устройства, когда инициатор выполнен в виде прямолинейного проводника; на фиг. 2 - вариант устройства, когда инициатор выполнен в виде U-образной петли связи; на фиг. 3 - вариант устройства, когда инициатор изогнут в виде двух перпендикулярно соединенных прямолинейных отрезков; на фиг. 4 - вариант устройства, когда разрядная камера установлена коаксиально с концом инициатора, находящегося в ней; на фиг. 5 - вариант устройства, когда конец инициатора, находящийся в резонаторе, не соединен с его проводящей поверхностью, а диаметр его как минимум в 2 раза больше диаметра конца инициатора, находящегося в разрядной камере.

Устройство содержит СВЧ-магнетрон 1, излучающий элемент 2 которого размещен в полости объемного резонатора 3, в его полости установлен также инициатор 4, один конец которого 5 находится в разрядной камере 6 и на него надето сопло 7 и трубка 8 из диэлектрического материала с высокой температурой плавления и низкими потерями энергии на СВЧ-излучении, другой конец инициатора 9 выведен из полости резонатора и подсоединен к системе подачи газа, d_2 и d_1 - диаметры концов инициатора, расположенные соответственно в резонаторе 3 и разрядной камере 6 (фиг. 5).

Варианты осуществления изобретения

Работает устройство следующим образом.

После подачи напряжения питания на магнетрон 1 за очень короткое время ($\sim 10^{-8}$ с) происходит установление частоты, соответствующей резонансной частоте системы магнетрон 1 - резонатор 3 - инициатор 4 - разрядная камера 6.

Далее происходит накопление энергии в течение $\sim 10^{-6}$ с до достижения пробойной напряженности. Вблизи конца 5 инициатора 4, находящегося в разрядной камере 6, зажигается разряд, энергия СВЧ, излучаемая источником излучения 2 магнетрона 1, поглощается образовавшейся плазмой. Сопло 7 и диэлектрическая трубка 8 вместе с системой подачи газа формируют плазменную струю. В случае если разряд погаснет, процесс инициации автоматически повторится.

Так как инициатор выполняет одновременно роль элемента, обеспечивающего сильную связь между резонатором и разрядной камерой, его размеры должны обеспечивать оптимальные условия передачи энергии в зону горения разряда после инициации. Многочисленные эксперименты

показали, что наилучшие результаты достигаются, если длина инициатора выбрана из соотношения

$$L = n\lambda/2 + \lambda/4 \quad (1),$$

где

L - общая длина инициатора;

λ - длина волны СВЧ-излучения в свободном пространстве;

n - 1, 2, 3...

При этом инициатор может быть выполнен в виде прямолинейного проводника, ориентированного параллельно электрическому вектору.

Так как расположение пучностей электрического поля внутри разрядной камеры зависит от формы и размеров разрядной камеры и в общем случае не совпадает с месторасположением конца инициатора, для разрядной камеры произвольной формы необходима подгонка длины инициатора, что для прямолинейного инициатора может вступить в противоречие с требованием оптимальной длины L .

Наилучшим вариантом является тот, в котором инициатор выполнен в виде U-образной петли связи или изогнут в виде двух перпендикулярно соединенных прямолинейных отрезков, при этом длина его отрезка, расположенного внутри резонатора параллельно электрическому вектору, равна $\lambda/4$.

Оптимальные условия передачи энергии достигаются, если длина участка инициатора, находящегося в пучности электрического поля резонатора параллельно электрическому вектору, составит $\lambda/4$.

При использовании устройства для ионизации, нагрева и вывода во внешнюю среду потока плазмы в виде плазменной струи металлический инициатор может быть выполнен в виде трубопровода, при этом его конец, электрически соединенный с поверхностью резонатора, выведен через стенку резонатора и подключен к системе подачи газа.

Для того чтобы задать скорость и форму струи плазмы на конце инициатора, находящемся в разрядной камере, может быть установлено сопло из тугоплавкого металла, которое одновременно предупреждает разрушение конца инициатора образующейся высокотемпературной плазмой.

Для того чтобы сформировать струю плазмы, на него может быть надета трубка из диэлектрического материала с высокой температурой плавления и низкими потерями энергии на СВЧ-излучении, например из кварца. Такая трубка может быть размещена на этом конце и в том варианте, когда на конце инициатора надето сопло.

Проблема тепловых нагрузок на стенки диэлектрической трубки со стороны плазменной струи может быть решена стандартными способами, например, закручиванием плазменной струи вокруг своей оси, внешним обдувом трубки и другими.

Промышленная применимость.

В обычно используемых цилиндрических резонаторах, возбуждаемых на моде колебаний TM_{010} , напряженность электрического поля в центре резонатора согласно [Мак-Доналд А. СВЧ пробой в газах.- М.: Мир, 1969, с. 167] составляет

$$E_0 = \sqrt{P_0 Q / \eta \omega_0} \quad (2),$$

где P_0 - мощность излучения СВЧ-магнетрона;

Q - добротность резонатора;

ω_0 - угловая частота СВЧ-излучения, а

$$\eta = 0,27 \cdot \epsilon_0 \cdot V \quad (3),$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ ф/м - диэлектрическая проницаемость в вакууме;

V - объем резонатора, который обычно выбирается как $V \sim \lambda^3$,

где λ - длина волны СВЧ-излучения в свободном пространстве.

Используя формулу (2) для расчета, можно подобрать объемный резонатор с относительно невысокой добротностью (Q) и при этом достичь довольно высокой напряженности в центре резонатора.

Например, при $P_0 = 1$ кВт, $\omega_0 / 2\pi = 2,45$ ГГц, $V = 1$ л, $Q = 10^3$, напряженность электрического поля $E_0 \sim 160$ кВ/см. Для примера пробойная напряженность для воздуха при атмосферном давлении составляет около 30 кВ/см.

Пример конкретного использования.

Использовался магнетрон с блоком питания от бытовых СВЧ-печей, имеющий мощность $P = 800$ Вт и частоту $f = \omega_0 / 2\pi = 2,45$ ГГц, это позволило при $\lambda = 12$ см использовать резонатор, изготовленный, например, из меди, объемом $V = 0,7$ л.

Разрядная камера была выполнена в виде цилиндра, коаксиального с расположенным в нем концом инициатора с молибденовым соплом и диэлектрической трубкой из кварца. В качестве рабочего газа использовался воздух при атмосферном давлении.

Температура образовавшейся в такой конфигурации плазменной струи достигала 4500°C . При этом в течение 2 ч работы устройства эрозии инициатора не наблюдалось.

Устройство отличается высокой стабильностью в работе, инициация разряда в случае гашения плазмы происходит автоматически при небольшой потребляемой мощности. Такое устройство может работать от обычной бытовой электросети.

Кроме того, устройство отличается компактностью и простотой конструкции, в нем отсутствуют какие-либо механически перемещаемые детали.

Все это позволяет реализовать способ, используя устройство во многих отраслях, например для сварки, резки любых металлов, даже таких, как вольфрам, для нанесения покрытий из тугоплавких материалов, а компактность и малогабаритность устройства позволяют применять его в таких отраслях, как медицина, стоматология, ювелирное дело.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ генерации плазмы, заключающийся в иницировании разряда в газовой среде с помощью электромагнитной волны СВЧ-диапазона, отличающийся тем, что используют маломощный источник СВЧ-излучения, напряженность электромагнитного поля которого повышают, для чего используют объемный резонатор, устанавливая сильную связь между источником СВЧ-излучения и резонатором, возбуждают колебания на частоте, соответствующей резонансной частоте системы, образованной источником СВЧ-излучения и резонатором, определяют области пучности установившейся стоячей волны и направление колебаний электрического вектора в резонаторе, который соединяют с разрядной камерой, устанавливая между ними сильную связь, в разрядной камере исследуют распределение электромагнитного поля, фиксируя области пучности, размещают инициатор в области пучности резонатора и разрядной камеры, при этом ориентируют его

относительно направления колебаний электрического вектора в резонаторе, после чего возбуждают колебания на частоте, соответствующей резонансной частоте системы; источник СВЧ-излучения - резонатор - инициатор - разрядная камера, увеличивая напряженность электромагнитного поля до величины, превышающей пробойную напряженность для газа, заполняющего разрядную камеру, иницируя тем самым разряд, и воздействием СВЧ-излучения генерируют плазму.

2. Устройство для осуществления способа генерации плазмы по п.1, содержащее источник СВЧ-излучения, заполненную газом разрядную камеру, размещенный в ней инициатор, выполненный из токопроводящего материала, отличающееся тем, что устройство дополнено объемным резонатором, а инициатор установлен одновременно в полостях разрядной камеры и резонатора, при этом конец инициатора, расположенный в разрядной камере, размещен в области пучности, установившейся внутри разрядной камеры стоячей волны, а другой помещен внутри резонатора в область пучности установившейся в нем стоячей волны, а в качестве источника СВЧ-излучения использован СВЧ-магнетрон, рабочая частота которого соответствует резонансной частоте объемного резонатора, при этом излучающий элемент СВЧ-магнетрона расположен внутри объемного резонатора.

3. Устройство по п.2, отличающееся тем, что конец инициатора, находящийся в резонаторе, электрически соединен с проводящей поверхностью резонатора.

4. Устройство по п.2, отличающееся тем, что конец инициатора, находящийся в резонаторе, не соединен с его проводящей поверхностью, а диаметр его, как минимум, в 2 раза больше диаметра конца инициатора, находящегося в разрядной камере.

5. Устройство по любому из пп.2 - 4, отличающееся тем, что длина инициатора выбрана из соотношения

$$L = n\lambda/2 + \lambda/4,$$

где L - общая длина инициатора;

λ - длина волны СВЧ-излучения в свободном пространстве;

$n = 0, 1, 2, \dots$

6. Устройство по любому из пп.2 - 5, отличающееся тем, что инициатор выполнен прямолинейным.

7. Устройство по любому из пп.2 - 5, отличающееся тем, что инициатор выполнен изогнутым.

8. Устройство по любому из пп.2 - 5 и 7, отличающееся тем, что инициатор выполнен в виде U-образной петли связи, при этом в области пучности установившейся внутри резонатора стоячей волны параллельно электрическому вектору расположен участок петли связи, соединяющий параллельные ее части, и его длина равна $\lambda/4$.

9. Устройство по любому из пп.2 - 5 и 7, отличающееся тем, что инициатор изогнут в виде двух перпендикулярно соединенных прямолинейных отрезков, при этом длина его отрезка, расположенного внутри резонатора параллельно электрическому вектору, равна $\lambda/4$.

10. Устройство по любому из пп.2 - 9, отличающееся тем, что инициатор выполнен в виде трубопровода и конец его, находящийся в резонаторе, выведен из него и подключен к системе подачи газа.

11. Устройство по п.10, отличающееся тем, что конец инициатора, размещенный внутри разрядной камеры, снабжен соплом из тугоплавкого материала.

12. Устройство по п.10 или 11, отличающееся тем, что на конец инициатора, размещенный внутри разрядной камеры, надета трубка из диэлектрического материала с высокой температурой плавления и низкими потерями энергии на СВЧ.

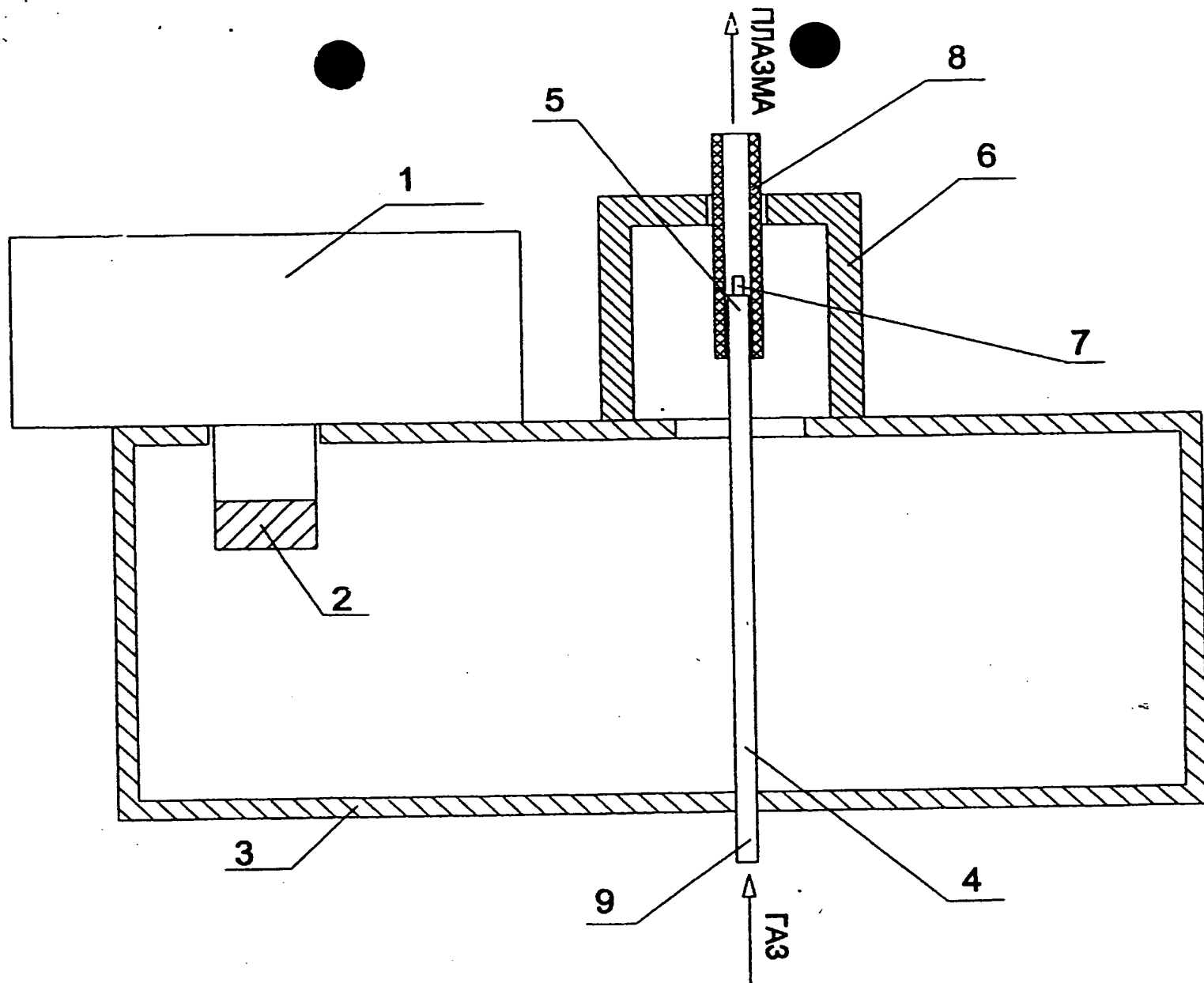
13. Устройство по п.12, отличающееся тем, что трубка, надетая на размещенный внутри разрядной камеры конец инициатора, выполнена из кварца.

14. Устройство по любому из пп.2 - 12, отличающееся тем, что разрядная камера выполнена в виде цилиндра, коаксиального с частью инициатора, расположенной в ней.

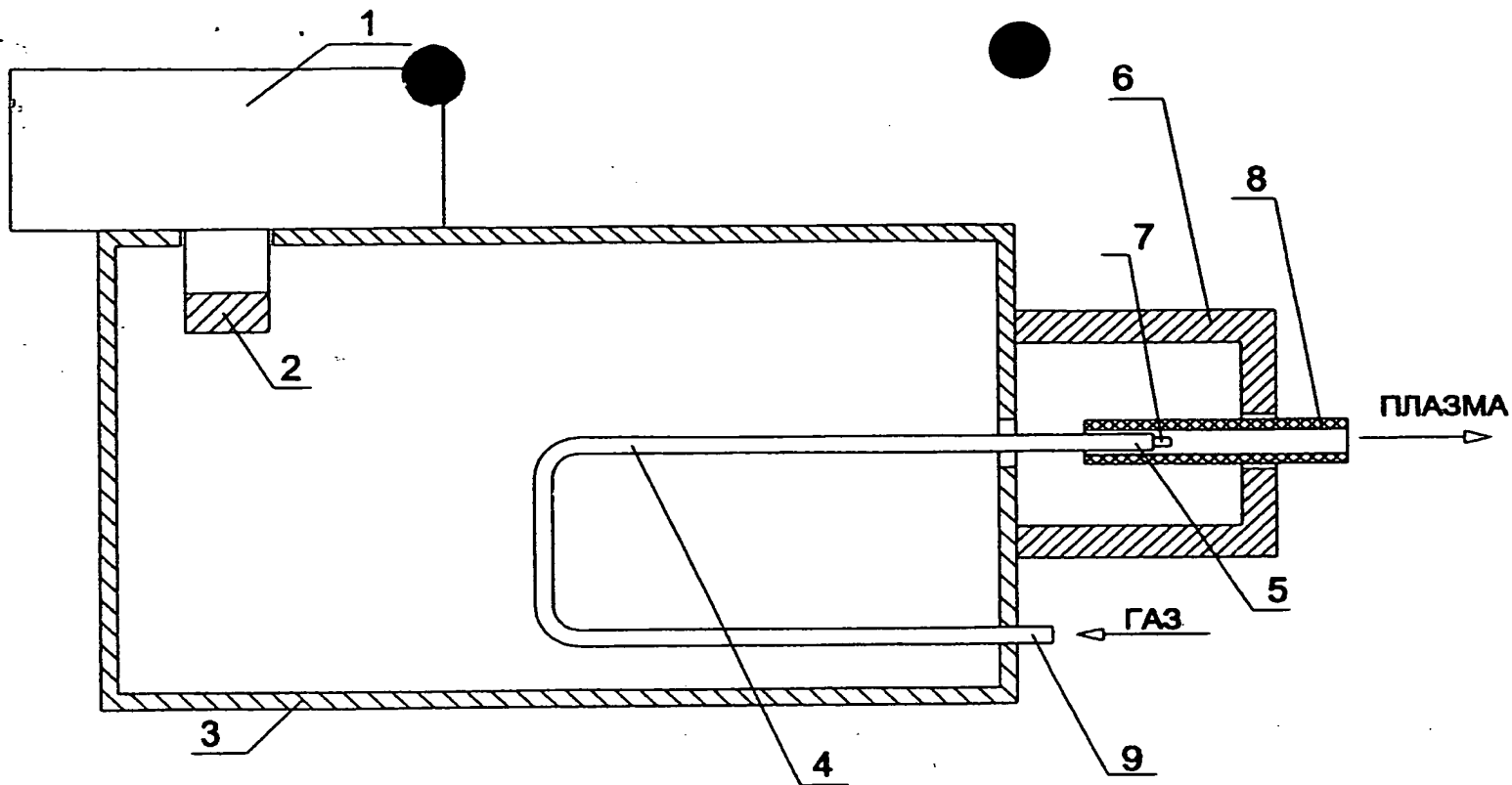
Приоритет по пунктам:

25.05.99 по пп.1, 2, 4, 7;

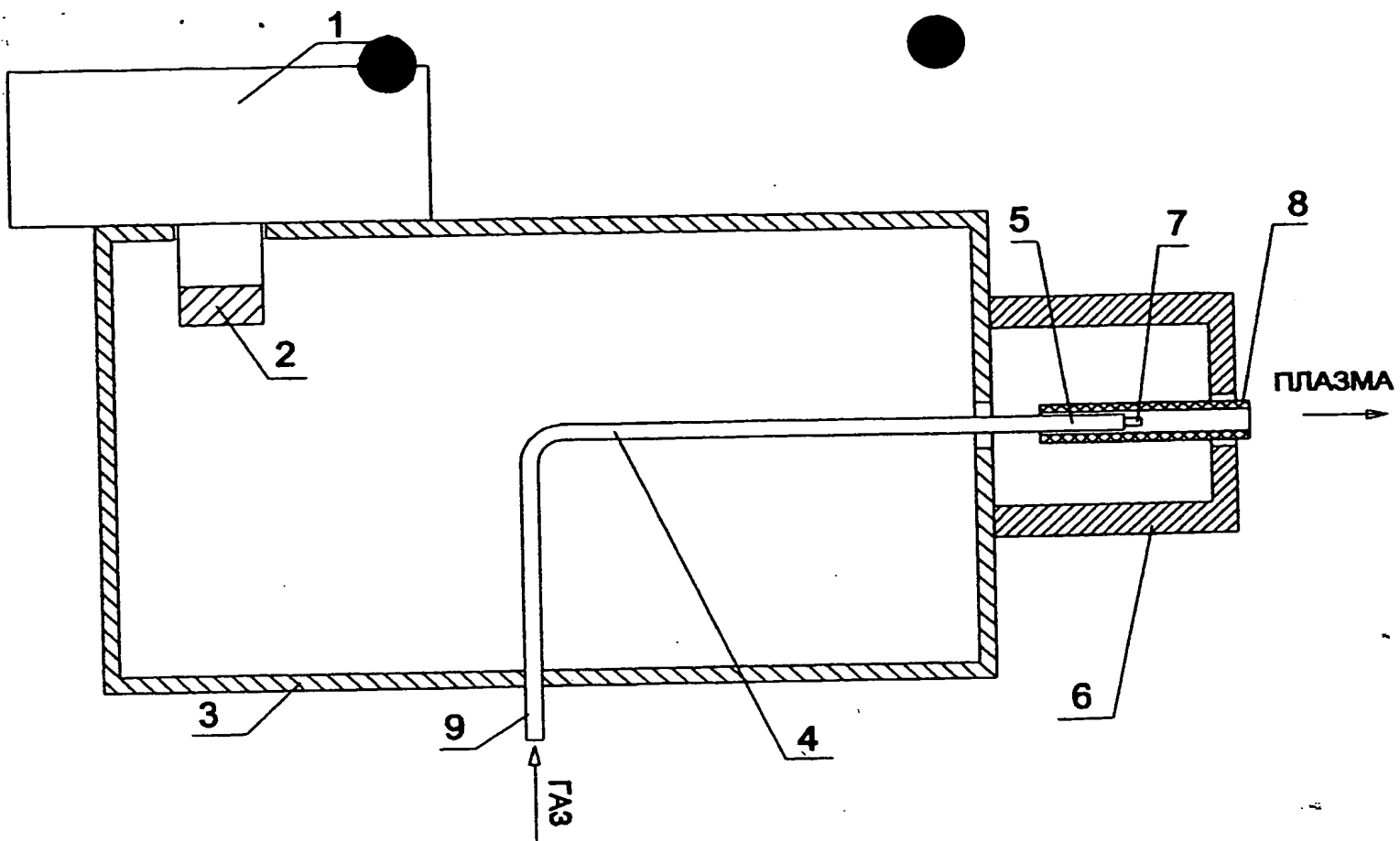
07.04.99 по пп.3, 5, 6, 8 - 14.



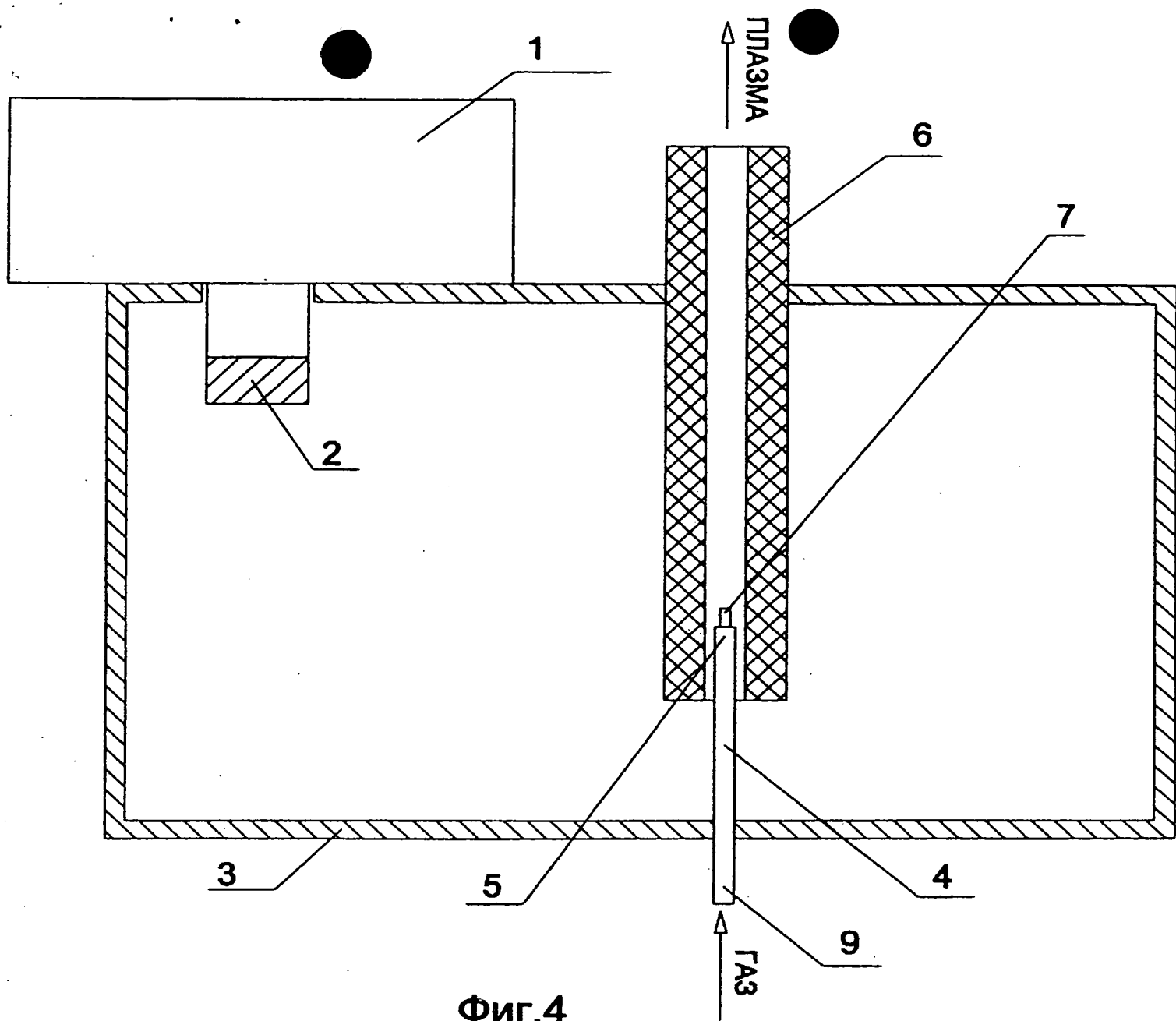
Фиг.1

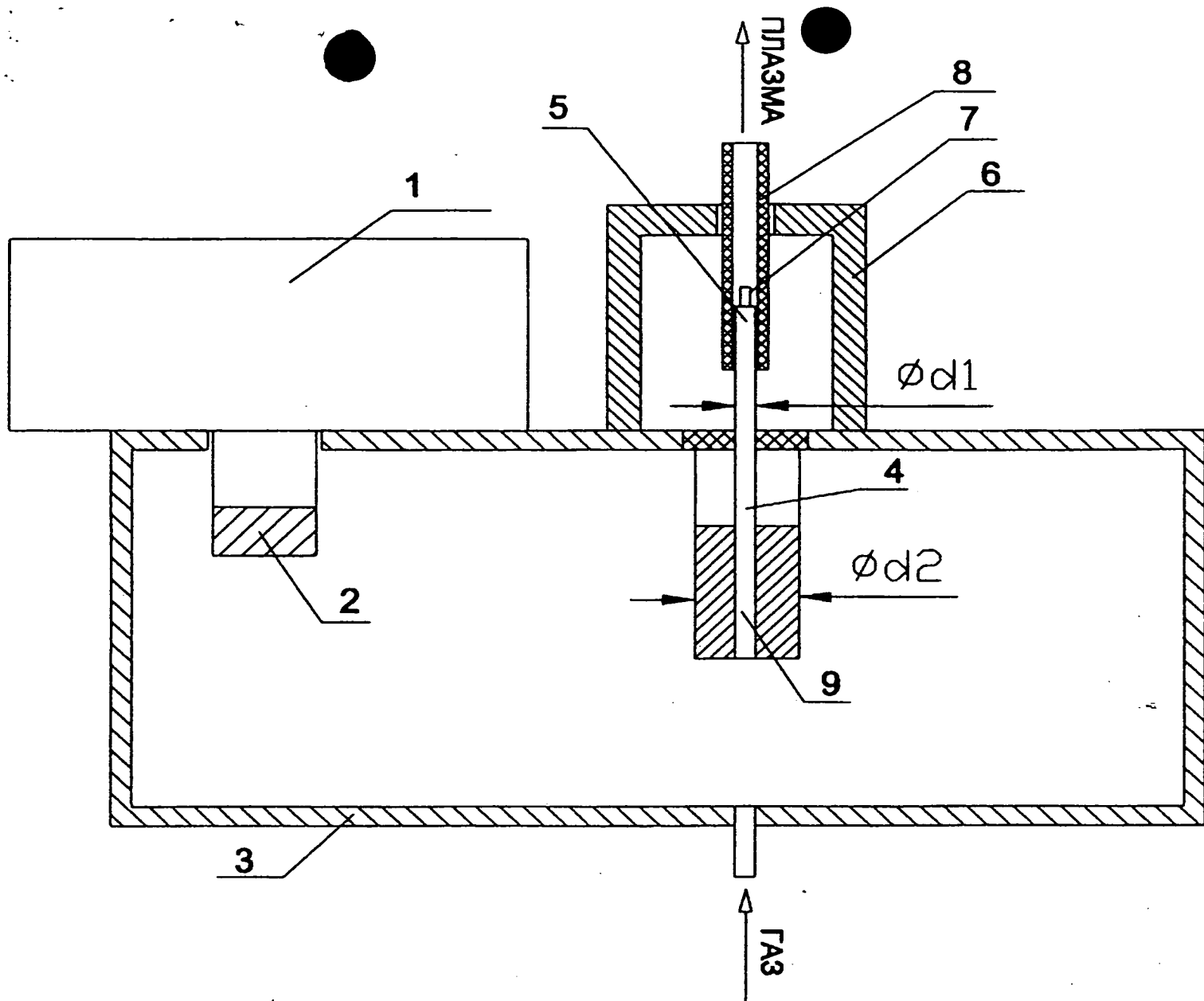


Фиг.2



Фиг.3





Фиг.5